

알루미늄과 아연도금강판의 저항 점용접에 관한 품질평가

The Quality Evaluation on Resistance Spot Welding of Aluminum and Zinc Coated Steel

허인호, 이철구, 박익근, 안형근, 김현묵
서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

1. 서론

저항 점용접은 용접시간이 짧고 공정이 간단하며 용접물 접합부 주변의 열영향부(HAZ)가 적을 뿐 아니라 잔류응력과 변형 등이 타 용접공정보다 월등히 양호하므로, 자동차 차체뿐만 아니라 항공기 구조, 철도차량 등 내구성이 요구되는 박판 구조물의 접합에 널리 사용되어지고 있다. 특히, 자동차 산업계에서는 에너지 절감을 위한 차량경량화 및 대기오염 문제로 전기자동차의 필요성이 증가되는 추세이므로 경량이면서 우수한 강도를 가지는 알루미늄계 합금으로 차체를 대체하려는 시도를 하고 있다. 따라서 차량경량화를 위하여 대체재로 고려되고 있는 알루미늄합금의 효과적인 저항 점용접 방법이 확립되어야 하고, 이와 함께 차량구조물의 전체를 알루미늄합금으로 교체하는 것은 어려우므로 부분경량화에 대비하여 알루미늄합금판과 기존 차량구조용재료와의 이종재료에 대한 저항 점용접 기술도 조속히 개발되어야 한다. 현재까지 알려진 바로는 이종재료는 특히 두 재질이 용융점 차이가 크면 용접공정을 적용할 때 이들 양쪽 재질의 고른 용융을 기대하기 어려운 것으로 알려져 있다.^{1,2)} 따라서 강판과 알루미늄합금판 같이 용융점 및 열, 전기의 전도도가 현저하게 차이나는 이종재료의 용접에 의한 접합은 현재까지 어려운 문제로 남아 있다.

국외연구의 경우, 알루미늄판재와 철판사이에 매개체를 첨가하여 용접한 경우도 있으며 알루미늄 차체 개발에 있어 기계적 결합부의 설계를 통한 접합성을 향상시킨 연구결과가 있다.^{3,4)} 또한 표면처리법으로 이종재료의 용접성을 향상시킨 연구결과가 있으며 전류방향이 용접성에 미치는 효과에 대한 연구도 이루어 졌다. 제품을 설계할 때 무엇보다 용접부에 대한 신뢰성 평가가 요구된다. 이러한 점용접부의 접합상태를 비파괴적인 계측기법에 의해 정량적 평가를 하는 것은 용접제품의 신뢰성 향상이나 품질관리적 측면에서 상당히 중요하다. 알루미늄합금의 저항 점용접과 관련한 연구^{1,5,6)}는 주로 점용접성을 평가하고, 양호한 용융부를 얻을 수 있는 용접조건을 설정하기 위한 많은 노력을 기울였고, 육안관찰이 불가능한 용융부 크기를 추정하기 위하여 초음파탐상기법의 하나인 C-Scan Image 기법을 도입하였다.^{7,8)}

본 연구에서는 차체의 경량화를 위해 사용 가능성이 있는 알루미늄과 현재 사용되고 있는 아연도금강판을 이용하여 이들 이종재료에 대한 저항 점용접의 품질평가에 대한 실험적 검증을 수행하였다. 또한, 인장-전단강도 시험을 통하여 용접강도를 평가하였으며, 알루미늄과 아연도금강판과의 접합상태를 규명하기 위해 금속용융부의 경계면에 대한 SEM관찰결과와 초음파 C-Scan Image 기법에 의한 용융부의 비파괴적 측정결과를 이용하여 접합상태를 평가하였다. 이러한 실험을 토대로 용접부에 대한 비파괴적 품질평가의 유용성 유무와 이종재료의 최적조건을 얻고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 용접시험편 및 조건

본 실험에 사용된 재료는 각각 두께가 0.8mm인 알루미늄과 아연도금강판을 사용하였다. 알루미늄의 화학 조성비를 Table. 1에 나타내었고, 아연도금강판에서 아연도금층의 화학 조성비를 Table. 2에 나타내었다. 또한, 용접시험편의 치수와 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 용접조건은 가압력을 350kgf로 고정하고 전극팁의 지름은 각각 $\phi 6\text{mm}$ 로 하여 전류를 10~14kA로 통전시간은 10과 12cycle로 변화를 주었다.

2.2 실험방법

실험에 사용된 저항 점용접기는 최대 단락 전류가 22kA이고 최대 가압력이 800kgf까지 가능한 75kVA용량인 공기압 작동식(ASP-75)을 사용하였다. 접합부의 비파괴평가는 초음파 C-Scan Image

Table. 1 Chemical composition of aluminum

material	chemical composition (%)									
	Al	Si	Fe	Ca	S	Cl	Ti	Pb	Ga	Cu
aluminum	98.9	0.520	0.415	0.0555	0.0437	0.415	0.0287	0.0166	0.0145	0.0105

Table. 2 Chemical composition of zinc coated layer

material	chemical composition (%)			
	Zn	Fe	Al	Si
zinc coated layer	98.9	0.520	0.415	0.0555

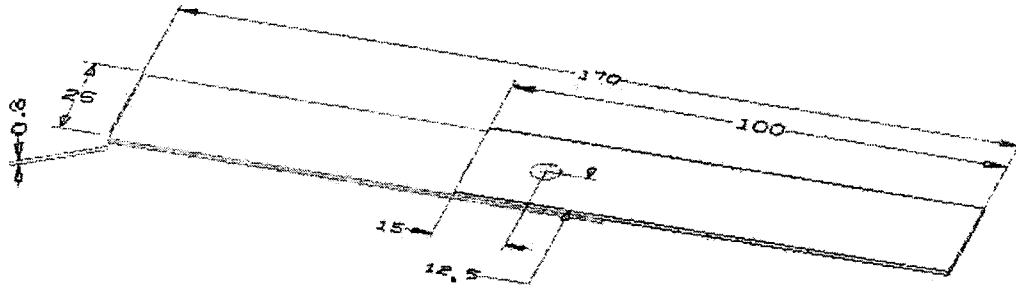


Fig. 1 Specimen of lap joint with single spot welding (unit : mm)

system(HITACHI; 100MHz)를 사용하였으며, 탐촉자는 25MHz(Focused type, Focal length: 15mm)를 사용하여 너깃(nugget) 형상과 크기를 관찰하고, 영국에서 제작된 인장시험기(INSTRON-4467)로 인장속도를 3mm/min하여 용접부의 인장-전단강도를 측정하였다.

3. 실험결과

시험편 제작에 필요한 용접조건은 알루미늄-알루미늄과 아연도금강판-아연도금강판의 동종재료에 있어서의 용접조건과 이종재료에 관한 기존의 연구내용을 토대로 선정하였다. 용접은 가압력을 고정하고 전극팁은 기존에 많이 사용되고 있는 지름 $\phi 6\text{mm}$ 를 사용하여 전류와 통전시간만의 변화로 용접을 수행하면서 전류와 통전시간과의 관계를 고찰하였다. Fig. 2는 각각의 두께가 0.8mm인 알루미늄과 아연도금강판을 가압력 350kgf와 통전시간 10cycle로 고정하고 전류를 10~14kA의 범위로 용접한 시험편의 인장-전단강도를 측정한 결과이다. Fig. 3은 같은 조건으로 통전시간만을 12cycle로 변화를 주어 용접한 시험편의 인장-전단강도를 측정한 결과를 나타내고 있다.

Fig. 2에서 나타나 있는 것처럼 통전시간을 10cycle로 하여 전류를 가하게 되면 전류가 11~13kA의 범위에서 높은 인장-전단강도를 나타내고, 이 중 전류가 13kA에서 최대값을 보인다. 하지만 전류가 11kA미만이거나 13kA이상일 때는 인장-전단강도가 급격히 저하되는 경향을 나타내고 있다. 전류가 11kA미만에서 강도가 저하되는 것은 통전시간에 비해 용접부에 낮은 전류가 가해져 충분한 용융이 이루어지지 않고, 13kA이상의 높은 전류에서 강도값이 낮아지는 것은 높은 전류에 의해 용접부에 용융분출현상에 기인하는 것으로 사료된다. Fig. 3은 통전시간을 12cycle로 변화를 주어 인장-전단강도를 측정한 결과이다. Fig. 2와 마찬가지로 전류가 11~13kA에서 높은 강도값을 나타내고 있다. 하지만, 통전시간이 10cycle때와는 다르게 12cycle에서는 전류가 11kA이하에서는 강도가 완만하게 저하되는 경향을 보였다. 또한, 전류가 12kA일 때 최대 강도를 갖는 것으로 나타나며, 12kA를 기점으로 해서 전류가 높아지면 강도가 저하되고 13kA이상에서는 급격히 강도가 낮아지는 현상을 보인다. 전류가 13kA이상에서는 높은 전류와 장시간의 통전에 의해 용접부의 가장자리가 얇어지고 용융분출

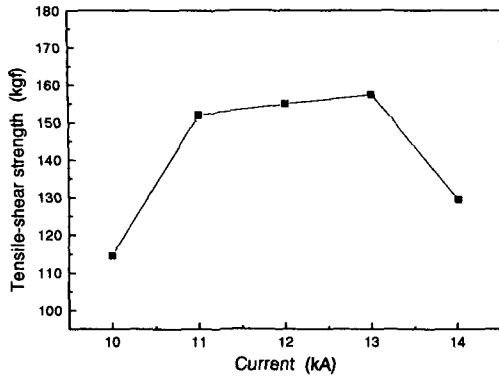


Fig. 2 The relation between current and tensile-shear strength
(Electrode force: :350kgf, Weld cycle: 10cycle)

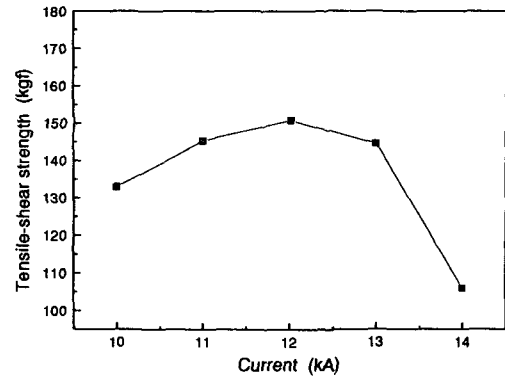


Fig. 3 The relation between current and tensile-shear strength
(Electrode force: :350kgf, Weld cycle: 12cycle)

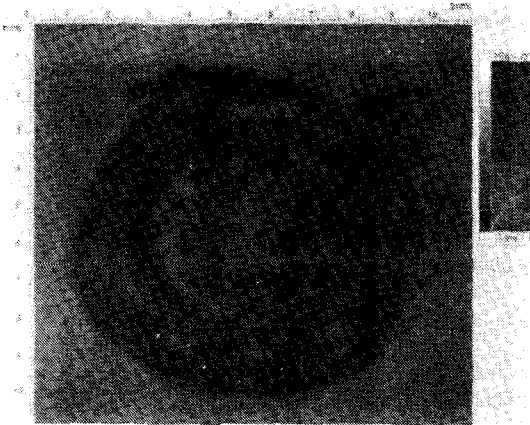


Fig. 4 C-scan image of spot welded
(Weld current=13kA, Weld cycle=10cycle)



Fig. 5 C-scan image of spot welded
(Weld current=14kA, Weld cycle=12cycle)

현상에 기인하여 용접부의 강도가 매우 낮게 나타난다. 이와 같은 결과를 통해 두께 0.8mm의 박판 이종재질의 용접은 전류범위를 11~13kA로 통전시간을 10cycle로 용접을 수행하는 것이 좋은 강도를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 통전시간이 길어질수록 짧을 때에 비해 같은 전류범위에서 강도가 더 낮게 나타났다.

Fig. 4와 5는 초음파 C-Scan Image system에 의한 점용접부의 접합상태를 관찰한 예를 나타내고 있다. Fig. 4는 인장-전단강도가 최대(Weld cycle=10cycle, Weld current=13kA)일 때이고 Fig. 5는 인장-전단강도가 최소(Weld cycle=12cycle, Weld current=14kA)일 때의 초음파 C-Scan 화상으로 각각의 그림은 용접조건에 따른 용접부의 너깃과 용접상태를 나타내고 있다. Fig. 4에서처럼 C-Scan 화상상에 색의 분포가 균일하고 짙게 나타나는 것은 용접부의 너깃 형성이 잘 이루어 졌음을 의미한다. 하지만, Fig. 5에서처럼 C-Scan 화상상에 색의 분포가 고르게 나타나지 않는 것은 용접부의 너깃 형성이 잘되지 않은 Corona bond가 주로 형성되어 있음을 확인 할 수 있었다. 즉, C-Scan에서는 접합이 잘 이루어지지 않은 부분을 결함으로 취급하여 낮은 농도의 색으로 나타낸다. 또한 용접부를 평면으로 관찰할 수 있기 때문에 너깃 형상과 크기를 쉽게 파악 할수 있다.

4. 결론

본 연구는 널리 사용되고 있는 아연도금강판과 대체 재료로 연구되고 있는 알루미늄의 이종재질 저항 점용접에 있어서 최적의 용접조건을 찾고 용접부를 비파괴적인 초음파 계측기법을 도입하여

평가하기 위한 실험으로 두께 0.8mm의 박판을 사용하여 가압력과 전극팁 직경을 일정하게 하고 전류와 통전시간을 변화시켜 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전류가 13kA를 초과하게 되면 용접시에 스패터(Spatter)의 발생이 많아지고, 통전시간이 길어질수록 용접부의 인장-전단강도가 저하되는 것을 알 수 있었다
- (2) 알루미늄-아연도금강판의 이종재질 용접부는 동종재질보다 낮은 인장-전단강도를 나타내었다.
- (3) 초음파 C-Scan Image로 접용접부를 비파괴적으로 평가한 결과, 너깃의 형성과 Corona bond의 식별 등이 가능했으며, 향후 접용접부의 품질평가에 유용한 정보를 제공해 줄 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 손병천, 우승엽, 이재범, 최용범, 장희석, “이종재료(알루미늄합금-강판)의 저항 점용접에 관한 연구”, 대한용접학회지, 제 15권, 4호, 1997.8 pp42-62
2. 신현일, 강성수, “고장력강판 및 2층아연도금된 고장력 강판의 점용접성에 관한 연구”, 대한용접학회지, 제12권, 3호, 1994.9 pp56-62
3. Hatsuhiro Oikawa, Tohru Satio, Takashi Yoshimure, Takashi Nagase, Tadao Kiriyaama, “Spot welding of aluminum Clad Steel to Steel or Aluminum. -Dissimilar Metal Joining of Steel to aluminum with Intermediate layer (Report 1)”, 일본용접학회논문집 제14권 제1호, 1996, pp69-80
4. Msanori Yasuyama, Kazuhiro Igawa, Takao Taka, “Spot Welding of Aluminum and Steel Sheet with insert of aluminum Clad Steel Sheet. -Spot Welding of Aluminum and Steel Sheet (I)-”, 일본 용접학회논문집 제 14권 제 2호, 1996, pp314-320
5. 박진철, 정원욱, 강성수, “이종 Al합금의 저항 점용접부 용접성과 피로특성에 관한 연구”, 대한용접학회지, 제17권, 2호, 1999.4 pp44-52
6. 신현일, 박용석, 강성수, “5182 Al합금판의 전기저항 점용접부 피로거동에 관한 연구”, 대한용접학회지, 제16권, 3호, 1998.4 pp84-92
7. Shinobu Satonaka, Kenji Nishi, Toshihiro Nishiwaki, Yuzo Kohno, “Ultrasonic Evaluation of Spot welds by Local Immersion Method”, 일본 용접학회논문집 제15권 제1호, 1997
8. 박익근, “초음파계측에 의한 SPOT용접품질의 비파괴적 평가”, 대한용접학회지, 제12권, 제3호 1994.9 pp109-117
9. 서창민, 강성수, 황남성, 오상엽, “아연도금 강판의 점용접부의 피로거동에 관한 연구”, 대한해양공학학회지, 제6권, 2호, 1992.9 pp181-194